

発明の名称

マイクロホールアレイ、光ファイバアレイ、コネクタ、及びマイクロホールアレイの製造方法

発明の背景および関連技術

【0001】 本発明は、光ファイバを高精度に整列可能なマイクロホールアレイ、それを用いてなる光ファイバアレイ、光ファイバ同士を接続するために用いるコネクタ、及び、当該マイクロホールアレイの製造方法に関する。

【0002】 近年、光ファイバの高密度化に伴い、平面導波路（PLC）の多心化が進んでいる。そして、多心化に合わせ、導波路素子が大型化するのを避け、更に高密度化を図るため、従来の標準的な導波路ピッチ（ $250\mu\text{m}$ ）を短縮化（例えば、約半分の $127\mu\text{m}$ ）する方向で開発が進められている。そして、このような光ファイバの高密度化、導波路ピッチの短縮化に合わせて、多数の光ファイバを備えた光ファイバアレイのファイバ間ピッチも短縮する方向で開発が進んでいる。

【0003】 前述の光ファイバの高密度化に対応すべく、通常、多数の光ファイバを備えた多心構造の光ファイバアレイや、光ファイバを二次元方向に整列させた二次元光ファイバアレイが用いられる。これらは、光ファイバを極めて高い位置精度で高密度に整列させたものである。

【0004】 光ファイバアレイを用いたシステムの一例として、図12に示す光信号から光信号へと接続するスイッチングシステムがある。これは、光ファイバアレイ1と、この光ファイバアレイに組込まれた光ファイバ2から発した光信号を所定の方向へと反射させるミラーアレイ3とを組み合わせたシステムである。なお、ここで用いられるミラーアレイ3とは、通常、シリコン基板4上に複数の微小な可動式ミラー5が二次元的に配置された光学部品である。

【0005】 前記スイッチングシステムにおいては、光ファイバからの光信号を正確に反射させ、更に光ファイバへ集光させ得る位置関係に、光ファイバアレ

イ、レンズ及びミラーアレイが配置されている必要がある。なお、ここで用いられる一般的な光ファイバアレイは、一次元方向に光ファイバを整列させた平面状の光ファイバアレイを、複数積層及び固定化することにより作製することができる。

【0006】 しかしながら、光ファイバ相互の正確な位置関係を保ちつつ、平面状の光ファイバアレイを積層することは極めて困難であり、高度な技術を要する。また、積層後に接着等の操作によって光ファイバアレイ同士を固定化する際にも、接着剤の収縮等の影響によって光ファイバの位置が僅かにずれる恐れもある。従って、このような方法により光ファイバアレイを作製するには、高度な技術と労力が要求されるといった問題点があるとともに、光ファイバアレイ同士を、その内部に整列された光ファイバの端面同士を位置精度良好に突き合わせて接続することも一般的には極めて困難である。

【0007】 位置精度良好に光ファイバを整列させるための1つの方法として、図16に示すように、予めドリル加工等によって光ファイバを挿入するための孔(0.126mmφ)10を設けてなるマイクロホールアレイ11を作製した後、これに光ファイバを挿入・固定化することによって光ファイバアレイを作製する方法を挙げることができる。しかし、通常のマイクロホールアレイの孔の位置精度は±0.002mm以内であることが要求されるが、ドリル加工等によって前記位置精度を満足する孔を設けることは極めて困難であり、製造コストの面においても好ましい方法とはいえない。

【0008】 一方、例えば孔を形成するための複数のピンが内部に配置された金型等を使用し、これに、例えば樹脂等の材料を流し込むことにより、図16に示す形状を有するマイクロホールアレイ11を一体成形する作製方法を挙げることができる。しかし、通常のマイクロホールアレイの孔の内径寸法の誤差範囲は、±0.001mm以内であることが要求されるが、当該方法により作製されたマイクロホールアレイは、樹脂等の材料が硬化する際に収縮するために孔が楕円形等の形状に変形し易く、特に端部の孔については収縮割合が大きいために、前記誤差範囲に収まる孔とすることが困難な場合がある。

【0009】 また、図12に示すように、光ファイバアレイ1とレンズ6は極

めて接近した状態で配置されていることが一般的であるが、稀にスイッチングシステム内部において温度分布を生ずる場合もあり得る。ここで、一般的な樹脂の熱膨張係数は $10 \sim 200 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 、これにガラスファイバーを始めとする、無機フィラー等を添加した場合でも $10 \sim 60 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ であるのに対し、レンズの熱膨張係数は、約 $7 \sim 10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ であるため、樹脂等の材料を一体成形することにより得られたマイクロホールアレイを備えたスイッチングシステムにおいては、内部で温度分布を生じた場合には両素材の熱膨張係数の差に起因して、正確な光信号の伝達が行われなくなることも想定される。

【0010】 本発明は、このような従来技術の有する問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、光ファイバを挿入・固定するための孔が極めて優れた位置・寸法精度で配列されているとともに、低熱膨張率である材質により構成されているマイクロホールアレイ、及び、当該マイクロホールアレイに光ファイバが挿入・固定されてなる光ファイバアレイ、光ファイバアレイ内部に整列された光ファイバの端面同士を位置精度良好に突き合わせて固定することが可能なコネクタ、並びに、前記マイクロホールアレイの製造方法を提供することにある。

発明の概要

【0011】 即ち、本発明によれば、光ファイバを通すための複数の孔を備えたマイクロホールアレイであって、前記孔を備えた複数の筒状部と、該筒状部の外周面の全体又は該外周面の一部分に密接に設けられた本体基材とより構成されており、該筒状部は、樹脂により形成されたものであり、該本体基材は、セラミックス、ガラス、金属、又はこれらの複合物のいずれかにより形成されたものであるマイクロホールアレイが提供される。

【0012】 本発明においては、筒状部が、樹脂に代えて、樹脂と無機充填物とを含む複合材料により形成されたものであることが好ましく、本体基材を形成するセラミックス、ガラス、金属、又はこれらの複合物の熱膨張係数が、 $12 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下であることが好ましい。

【0013】 本発明においては、樹脂がエポキシ樹脂であり、無機充填物が熱膨張係数 $10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下の、セラミックス又はガラスであることが好ましい。

【0014】 本発明においては、熱膨張係数 $10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下のセラミックスが、非晶質シリカであることが好ましく、非晶質シリカの平均粒径が $20 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0015】 本発明においては、筒状部の熱膨張係数が $5 \sim 60 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ であることが好ましい。

【0016】 また、本発明においては、筒状部が、樹脂、又は、樹脂と無機充填物とを含む複合材料を注型し形成されたものであることが好ましく、樹脂、又は、樹脂と無機充填物とを含む複合材料の注型時の粘度が $10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下であることが好ましい。

【0017】 更に、本発明においては、本体基材を形成するセラミックス、ガラス、金属、又はこれらの複合物が、窒化アルミニウム、ムライト、シリコン、アルミナ、窒化珪素、マイカ、ワラストナイト、炭化珪素、非晶質シリカ、ホウ珪酸ガラス、Eガラス、ソーダライムガラス、ニッケル鋼、タングステン、モリブデン、ステライト、ステンレス鋼、炭素鋼、又は超硬合金、或いはこれらの複合物であることが好ましい。

【0018】 本発明においては、孔の少なくとも一方の開口面近傍において、孔の開口面に向かって前記孔の直径が漸増するテーパ部を有し、テーパ部のテーパ角が $15 \sim 75^{\circ}$ であることが好ましく、また、大径の孔と小径の孔とがテーパ部において接続されていることが好ましい。

【0019】 一方、本発明によれば、前述のいずれかのマイクロホールアレイを用いてなる光ファイバアレイが提供される。

【0020】 更に、本発明によれば、ガイドピンを通すための2以上のガイドホールを備え、光ファイバの端面同士を突き合わせて接続するために用いられるコネクタであって、前述のいずれかのマイクロホールアレイに、該ガイドホールを備えるとともに樹脂により形成された2以上の筒状部が、光ファイバを通すための複数の孔と並行に設けられているコネクタが提供される。

【0021】 本発明においては、筒状部が、樹脂に代えて、樹脂と無機充填物を含む複合材料により形成されたものであることが好ましく、更に、樹脂がエポキシ樹脂であり、無機充填物が熱膨張係数 $10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下のセラミックスであることが好ましい。

【0022】 本発明においては、筒状部の熱膨張係数が $5 \sim 60 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ であることが好ましい。

【0023】 また、本発明においては、筒状部が、樹脂、又は、樹脂と無機充填物を含む複合材料を注型し形成されたものであることが好ましく、更に、樹脂、又は、樹脂と無機充填物を含む複合材料の注型時の粘度が $10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下であることが好ましい。

【0024】 更に、本発明によれば、光ファイバを通すための複数の孔を備えたマイクロホールアレイの製造方法であって、複数のガイド孔を有する第一金型及び第二金型を、該ガイド孔の開口面が対向するように配置し、配置された第一金型と第二金型との間に、複数の一次孔を有する本体基材を配置するとともに、第一金型のガイド孔、該本体基材の一次孔、第二金型のガイド孔へとゲージピンを挿入し、次いで、第一金型と該本体基材との間隙に成形材料を流し込むとともに、第二金型と該本体基材との間隙を減圧することにより、該ゲージピンと該一次孔との間隙に該成形材料を充填し、充填された該成形材料を硬化させた後、該ゲージピンを抜き出すとともに該本体基材を金型から離型して離型体を得、得られた離型体から余剰の硬化した該成形材料を除去する、マイクロホールアレイの製造方法が提供される。

【0025】 本発明においては、粘度が $10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下の成形材料を流し込むことが好ましい。

図面の簡単な説明

図1は、本発明に係る二次元マイクロホールアレイの一実施態様を模式的に示す斜視図である。

図2は、図1のA部拡大図である。

図3は、本発明に係るマイクロホールアレイの別の実施態様を示す部分拡大図

である。

図 4 は、本発明に係るマイクロホールアレイの更に別の実施態様を示す部分拡大図である。

図 5 は、本発明に係るマイクロホールアレイの更に別の実施態様を示す部分拡大図である。

図 6 は、本発明に係るマイクロホールアレイの更に別の実施態様を示す部分拡大図である。

図 7 は、本発明に係るマイクロホールアレイの更に別の実施態様を示す部分拡大図である。

図 8 は、本発明に係るマイクロホールアレイの更に別の実施態様を示す部分拡大図である。

図 9 は、本発明に係るマイクロホールアレイの更に別の実施態様を示す部分拡大図である。

図 10 は、本発明に係るマイクロホールアレイの更に別の実施態様を示す部分拡大図である。

図 11 は、本発明に係るマイクロホールアレイの更に別の実施態様を示す部分拡大図である。

図 12 は、光信号から光信号へと接続するスイッチングシステムを説明する模式図である。

図 13 は、本発明に係るコネクタの一実施態様を模式的に示す斜視図である。

図 14 (a) ~ (e) は、本発明に係るマイクロホールアレイの製造方法の一実施態様を示す説明図である。

図 15 は、本体基材の一実施態様を模式的に示す斜視図である。

図 16 は、従来の二次元マイクロホールアレイの一実施態様を模式的に示す斜視図である。

好ましい実施態様の説明

【0026】 以下、本発明の実施の形態について説明するが、本発明は以下の

実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、当業者の通常の知識に基づいて、適宜、設計の変更、改良等が加えられることが理解されるべきである。

【0027】 本発明に係るマイクロホールアレイは、光ファイバを通すための孔を備えた複数の筒状部と、筒状部の外周面の全体又は該外周面的一部分に密接に設けられた本体基材とより構成されており、筒状部は樹脂により形成されたものであり、本体基材はセラミックス、ガラス、金属、又はこれらの複合物のいずれかにより形成されたものである。以下、本発明のマイクロホールアレイについて詳細に説明する。

【0028】 図1は、本発明に係るマイクロホールアレイの一実施態様を模式的に示す斜視図であり、図2は図1のA部拡大図である。光ファイバを通すための孔10を備えた筒状部12と、この外周面の全体に密接に設けられた本体基材13によって構成された状態を示している。ここで、筒状部12は、樹脂、即ち、適当な条件下において硬化せしめたプラスチックによって形成されている。このような樹脂は成形性が良好、且つ、低収縮であるため、当該筒状部12は優れた位置精度の孔10を有している。

【0029】 図3～6は、本発明に係るマイクロホールアレイの別の実施態様を示す部分拡大図であり、光ファイバを通すための孔10を備えた筒状部12と、この外周面的一部分に密接に設けられた本体基材13によって構成された状態を示している。即ち、図1に示すような、孔の開口面が二次元方向に配列されているものに限られず、一次元方向に配列されているものでもよい。更に、複数の本体基材が積層及び固定されてなる図7～9に示すような構造であっても、本発明の効果を奏することができる。

【0030】 また、本発明に係るマイクロホールアレイは、本体基材がセラミックス、ガラス、又は金属のいずれかの材質、或いは、これらの材質の2種類以上を組み合わせた複合物により形成されている。即ち、例えば樹脂等の材料を一体成形することにより得られたマイクロホールアレイの熱膨張係数（樹脂の熱膨張係数（但し、無機フィラー等を添加した場合）： $10 \sim 60 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ ）に比して、レンズの熱膨張係数（ $7 \sim 10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ ）に近い。従って、スイッチン

グシステム内部において温度分布を生じた場合であっても、マイクロホールアレイとレンズとの正確な位置関係が維持され、両素材の熱膨張係数の差に起因する光信号の伝達阻害等の不具合は生じ難い。

【0031】 また、本発明においては、筒状部の構成材料が樹脂だけでなく、樹脂と無機充填物とを含む複合材料により形成されたものであることも好ましい。「樹脂と無機充填物とを含む複合材料」とは、適当な条件下において樹脂を硬化せしめたプラスチックをマトリックスとし、この中に無機充填物が分散した状態の複合材料のことをいう。このような材料構成を有する複合材料は、より成形性が良好、且つ、低収縮であるため、筒状部は優れた位置精度の孔を有している。

【0032】 更に、本発明においては、マイクロホールアレイとレンズとの位置関係を、より正確に維持するといった観点からは、前記本体基材を形成するセラミックス、ガラス、金属、又はこれらの複合物の熱膨張係数は $12 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下であることが好ましく、 $10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下であることが更に好ましく、 $1 \sim 10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ であることが特に好ましい。

【0033】 また、本発明においては、筒状部を構成する複合材料に含まれる樹脂がエポキシ樹脂であり、無機充填物が熱膨張係数 $10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下の、セラミックス又はガラスであることが好ましい。エポキシ樹脂は化学的に安定であるとともに、成形時に良好な流動性を示すためである。また、熱膨張係数 $10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下のセラミックス又はガラス、即ち、適度に熱膨張係数が小さいセラミックス又はガラスを用いると、筒状部を形成する複合材料のマトリックスとなるエポキシ樹脂の熱膨張を抑制するために好ましい。具体的には、熱膨張係数が $0.5 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ の非晶質シリカ、 $1.0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ のコーディエライト、 $-8 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ の β -ユークリプタイト等を好適に用いることができる。

【0034】 本発明に係るマイクロホールアレイの筒状部のマトリックスとなるプラスチックとしては、エポキシ樹脂、特に主剤であるグリシジルエーテル型エポキシ樹脂を硬化剤で硬化せしめたプラスチック（即ち、エポキシ樹脂硬化物）であることが好ましい。

主剤となるグリシジルエーテル型エポキシ樹脂としては、ビスフェノールA型

エポキシ樹脂が好適であり、そのエポキシ当量は150～250であることが好ましい。エポキシ当量が150未満では硬化後のプラスチックが硬く、脆くなり過ぎる一方、250超では硬化後のプラスチックが適度な硬度にならず、ガラス転移点T_gも低下するためである。

【0035】 また、本発明においては、前述のグリシジルエーテル型エポキシ樹脂は、ビスフェノールA型エポキシ樹脂及び／又はノボラック型エポキシ樹脂であることが好ましい。ビスフェノールA型エポキシ樹脂のみを主剤として使用し、硬化剤で硬化せしめたプラスチックのガラス転移点T_gは、100～150℃程度となる。T_gを上げる必要がある場合は、ノボラック型エポキシ樹脂を用いることが好ましい。また、ビスフェノールA型エポキシ樹脂と前記ノボラック型エポキシ樹脂を混合して硬化せしめることにより、生成するプラスチックのガラス転移点T_gを任意に設定することができる。

【0036】 また、筒状部の孔には光ファイバが配設され挿入・固定されるため、当該光ファイバへの影響を極力少なくする観点からセラミックスは微粒子状であることが好ましい。具体的には、平均粒径が20μm以下であって、最大粒径が50μm以下であることが好ましく、平均粒径が5μm以下であって、最大粒径が15μm以下であることが更に好ましい。なお、セラミックスの平均粒径の下限としては0.5μm程度であることが好ましい。また、マトリックス中に多量に分散させるためには、粒子形状が球状であることが好ましい。これらの粒径、形状のものが実用化レベルで入手し易いことから、非晶質シリカが最適である。

【0037】 本発明においては、筒状部の熱膨張係数が5～60ppm/℃であることが好ましく、更には、等方的な熱膨張率を示すことが好ましい。即ち、本体基材とのミスマッチもなく、本体基材と筒状部の密着性に優れるとともに、光ファイバを挿入・固定するための孔についても高い位置精度が維持されたマイクロホールアレイである。

【0038】 本発明においては、筒状部が樹脂、又は樹脂と無機充填物とを含む複合材料を注型し形成されたものであることが好ましい。注型によって筒状部を形成するために作業性に優れ、微小形状や複雑形状にも対応できるといったメ

リットを有する。

【0039】 また、本発明においては、樹脂、又は樹脂と無機充填物を含む複合材料の注型時の粘度が $10\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下であることが好ましく、 $8\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下であることが更に好ましく、 $7\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下であることが特に好ましい。注型による成形法によって筒状部を形成するためには、樹脂、又は複合材料は注型成形可能な粘度を示すことが重要である。このため、注型時の材料の粘度が $10\text{ Pa}\cdot\text{s}$ を超えると材料の流動性が充分ではなく、注型成形が困難となる。従って、材料の粘度を当該数値以下とすることにより注型の際に充分な流動性を確保することができる。

【0040】 本発明においては、前記粘度の下限値については特に限定されるものではないが、実質的な製造条件等に鑑みれば $0.1\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上であればよい。なお、粘度の測定には、例えばコーンプレート型のE型回転粘度計を使用することができる。この測定方法では、まず事前に材料と粘度計の接液部を所定の温度としておき、コーンプレートの間に、被測定液（材料）を約 0.5 ml 入れる。次に、被測定液が測定治具の温度と平衡になった後（約1分）、 50 rpm で回転し、1分後の値を測定粘度値とするものである。

【0041】 また、本発明においては、図10に示すように、孔10の少なくとも一方の開口面近傍において、孔10の開口面に向かって孔10の直径が漸増するテーパ部14を有し、テーパ部14のテーパ角 θ が $15\sim75^\circ$ であることが好ましく、更には、図11に示すように、大径の孔と小径の孔とが、テーパ部14において接続されている構造であってもよい。このことにより、孔10への光ファイバの挿入が極めて容易になる。

【0042】 なお、本発明にいう「テーパ角」とは、図10において、大径の孔の縁上の任意点Aと、この点から最短である小径の孔の縁上の任意点Bとを結ぶ直線Xと、大径の孔の中心点Cと小径の孔の中心点Dとを結ぶ直線Yとが交差し形成される角度 θ のことである。また、「中心点」とは、円形の場合は円の中心であり、楕円の場合は長径と短径の交点であり、正四角形及び矩形の場合は2本の対角線の交点である。更に、不定多角形の場合は、この不定多角形を質量をもつ薄片と仮定した場合の重心と規定する。

【0043】 ここまで述べてきたように、本発明のマイクロホールアレイは、光ファイバを挿入・固定するための孔の寸法・位置精度が極めて良好であるとともに、樹脂を含む複合材料を使用しながらも、熱膨張係数が小さいといった特徴を有する。そして、このようなマイクロホールアレイを用いてなる本発明の別の側面である光ファイバアレイは、寸法・位置精度が極めて良好な孔に、常法に従って光ファイバが挿入・固定され作製されているために、光ファイバが極めて寸法・位置精度よく配列されている。

【0044】 また、本発明の光ファイバアレイは、図12に示すような光信号から光信号へと接続するためのスイッチングシステムに用いた際に、システム内部において温度分布が生じた場合であっても、レンズ6の熱膨張係数と、光ファイバアレイ1を構成する本体基材13の熱膨張係数が近似しているために、光ファイバ2とレンズ6との正確な位置関係が維持され、光信号の正確な伝達が確保される。

【0045】 また、本発明の更に別の側面は、ガイドピンを通すための2以上のガイドホールを備え、光ファイバの端面同士を突き合わせて接続するために用いられるコネクタであり、上述してきたマイクロホールアレイに、樹脂により形成された筒状部が外周面に密接して形成されてなる2以上のガイドホールが、光ファイバを通すための複数の孔と並行に設けられていることを特徴とする。

【0046】 図13は、本発明に係るコネクタの一実施態様を模式的に示す斜視図であり、光ファイバを通すための複数の孔10、及び、ガイドピンを通すための2つのガイドホール30を備えた筒状部31が、互いに並行となるように設けられている状態を示している。

【0047】 ガイドホール30を内部に備えた筒状部31は、樹脂、即ち、適当な条件下において硬化せしめたプラスチックによって形成されており、このような樹脂は成形性が良好、且つ、低収縮であるため、ガイドホール30はその位置精度が極めて優れている。従って、光ファイバアレイ同士を接続するに際して、光ファイバの内部に整列された光ファイバの端面同士を位置精度良好に突き合わせて固定することが可能である。

【0048】 なお、図13においては光ファイバを挿入するための孔10の開

口面が二次元方向に配置された状態を示しているが、本発明のコネクタにおいてはこのような実施態様に限定されず、孔が単に一次元方向に配置された状態であってもよい。

【0049】 本発明においては、筒状部の構成材料が、樹脂だけでなく、樹脂と無機充填物とを含む複合材料により形成されたものであることも好ましい。このような材料構成を有する複合材料は、より成形性が良好、且つ、低収縮であるため、図13に示すコネクタ32のガイドホール30は、極めて位置精度に優れている。

【0050】 また、本発明においては、ガイドホールを内部に備えた筒状部を構成する複合材料に含まれる樹脂がエポキシ樹脂であり、無機充填物が熱膨張係数 $10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下のセラミックスであることが好ましい。エポキシ樹脂は化学的に安定であるとともに、成形時に良好な流動性を示すためである。また、熱膨張係数 $10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下のセラミックス、即ち、適度に熱膨張係数が小さいセラミックスを用いると、筒状部を形成する複合材料のマトリックスとなるエポキシ樹脂の熱膨張を抑制するために好ましい。具体的には、熱膨張係数が $0.5 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ の非晶質シリカ、 $1.0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ のコーディエライト、 $-8 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ の β -ユークリプタイト等を好適に用いることができる。

【0051】 本発明に係るコネクタのガイドホールを内部に備えた筒状部のマトリックスとなるプラスチックとしては、エポキシ樹脂、特に主剤であるグリシジルエーテル型エポキシ樹脂を硬化剤で硬化せしめたプラスチック（即ち、エポキシ樹脂硬化物）であることが好ましい。

主剤となるグリシジルエーテル型エポキシ樹脂としては、ビスフェノールA型エポキシ樹脂が好適であり、そのエポキシ当量は $150 \sim 250$ であることが好ましい。エポキシ当量が 150 未満では硬化後のプラスチックが硬く、脆くなり過ぎる一方、 250 超では硬化後のプラスチックが適度な硬度にならず、ガラス転移点 T_g も低下するためである。

【0052】 また、本発明においては、前述のグリシジルエーテル型エポキシ樹脂は、ビスフェノールA型エポキシ樹脂及び／又はノボラック型エポキシ樹脂であることが好ましい。ビスフェノールA型エポキシ樹脂のみを主剤として使用

し、硬化剤で硬化せしめたプラスチックのガラス転移点 T_g は、 $100\sim 150$ ℃程度となる。 T_g を上げる必要がある場合は、ノボラック型エポキシ樹脂を用いることが好ましい。また、ビスフェノールA型エポキシ樹脂と前記ノボラック型エポキシ樹脂を混合して硬化せしめることにより、生成するプラスチックのガラス転移点 T_g を任意に設定することができる。

【0053】 本発明においては、ガイドホールを内部に備えた筒状部の熱膨張係数が $5\sim 60\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ であることが好ましく、更には、等方的な熱膨張率を示すことが好ましい。即ち、本体基材とのミスマッチもなく、本体基材と筒状部の密着性に優れるとともに、ガイドホールの位置精度が良好であるため、光ファイバの端面同士を位置精度よく突き合わせて接続することが可能なコネクタである。

【0054】 また、本発明においては、筒状部が樹脂、又は、樹脂と無機充填物とを含む複合材料を注型し形成されたものであることが好ましい。注型によって筒状部を形成するために作業性に優れ、微小形状や複雑形状にも対応できるといったメリットを有する。

【0055】 更に、本発明においては、樹脂、又は樹脂と無機充填物とを含む複合材料の注型時の粘度が $10\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下であることが好ましく、 $8\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下であることが更に好ましく、 $7\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下であることが特に好ましい。注型による成形法によって筒状部を形成するためには、樹脂、又は複合材料は注型成形可能な粘度を示すことが重要である。このため、注型時の材料の粘度が $10\text{ Pa}\cdot\text{s}$ を超えると材料の流動性が充分ではなく、注型成形が困難となる。従って、材料の粘度を当該数値以下とすることにより注型の際に充分な流動性を確保することができる。

【0056】 本発明においては、前記粘度の下限値については特に限定されるものではないが、実質的な製造条件等に鑑みれば $0.1\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上であればよい。

【0057】 次に、本発明に係るマイクロホールアレイの製造方法について、図面に基づき説明する。

図14(a)～(e)は、本発明に係るマイクロホールアレイの製造方法の一

実施態様を示す説明図である。まず、複数のガイド孔（図示せず）を有する第一金型 21 及び第二金型 23 を、ガイドピンを挿入する孔の開口面が対向するように配置し、第一金型 21 と第二金型 23 との間に、複数の一次孔 20 を有する本体基材 13 を配置する（図 14（a）、（b））。

【0058】 次に、第一金型 21 のガイド孔、本体基材 13 の一次孔、第二金型 23 のガイド孔へとゲージピン 22 を挿入し、第一金型 21 と本体基材 13 との間隙に成形材料 24 を流し込むとともに、第二金型 23 と本体基材 13 との間隙を減圧することによって、ゲージピン 22 と一次孔との間隙に成形材料 24 を充填する（図 14（b）、（c））。なお、図 14（c）は図 14（b）の P-P 切断面である。次いで、充填された成形材料 24 を適当な条件下で硬化させた後、ゲージピン 22 を抜き出すとともに本体基材 13 を金型から離型して離型体 26 を得（図 14（d））、その離型体 26 から余剰の硬化した成形材料 27 を除去することにより、本発明のマイクロホールアレイ 11 を製造することができる（図 14（e））。

【0059】 本体基材の材質はセラミックス、ガラス、又は金属のいずれかの材質、或いは、これらの材質の 2 種類以上を組み合わせた複合物である。更に、本発明においては、セラミックス、ガラス、金属、又はこれらの複合物が窒化アルミニウム、ムライト、シリコン、アルミナ、窒化珪素、マイカ、ワラストナイト、炭化珪素、非晶質シリカ、ホウ珪酸ガラス、E ガラス、ソーダライムガラス、ニッケル銅、タングステン、モリブデン、ステライト、ステンレス鋼、炭素鋼、又は超硬合金、或いはこれらの複合物であることが好ましく、窒化アルミニウムとしては、窒化アルミニウム系マシナブルセラミックスも好ましい。これらは熱膨張係数が低く、また、ドリル加工等によって容易に孔加工ができるためである。

【0060】 まず図 14（a）に示すように、本体基材 13 に、所定のサイズ及び配列間隔で穿孔して一次孔 20 を設ける。このときの穿孔は定法に従って行えばよく、ドリル加工等の方法によって設ければよい。なお、光ファイバを挿入・固定するための孔の径に比して、大きな径の一次孔とする。具体的には、所望とする孔の径に比して 2 ～ 10 倍、及び、所望とする孔のピッチの $3/4 \sim 1/$

4の径の一次孔とすればよい。このとき、光ファイバを挿入・固定するための孔に実質的に要求される $\pm 0.001\text{ mm}$ 以内の位置・寸法精度が、一次孔において達成されている必要性はなく、概ね $\pm 0.05\text{ mm}$ 以内の位置・寸法精度で設けられていればよい。

【0061】 また、一次孔の形状は円形に限定されず、楕円形、角形等であってもよい。更に、一次孔は前述の如くドリル加工等の穿孔によって設けられたものに限定されず、例えば所定の材質からなる基板に適当な間隔、深さ、及び形状の溝部を設け、当該溝部が形成された面と、平面部を有する別の部材の当該平面部とを当接することにより、一次孔を形成してもよい。このように形成された一次孔を有する本体基材を使用することにより、図3～6に示すような構造のマイクロホールアレイ11を製造することができる。

【0062】 次に、図14(b)に示すように、所定のサイズ及び配列間隔で穿孔された孔(図示せず)を有する第一金型21、及び第二金型23を、孔が設けられた面が対向するように配置し、これらの間に前述の一次孔を有する本体基材13を配置する。配置後、所定の寸法精度を満足するゲージピン22を、第一金型21の孔、本体基材13の一次孔、第二金型23の孔へと通す。このとき用いるゲージピン22の寸法精度、及び各金型の孔の位置・寸法精度は、光ファイバを挿入・固定するための孔の位置・寸法精度に反映されるため、 $\pm 0.005\text{ mm}$ 以内の位置・寸法精度を満足する必要がある。なお、ゲージピン22の径は、各金型の一次孔の径に比して小であることはいうまでもなく、一次孔の径はゲージピンの径の2～10倍であればよい。

【0063】 次いで、図14(b)の上方から、第一金型21と本体基材13との間隙に、樹脂、又は樹脂と無機充填物との混合物、及びその他硬化剤をはじめとする適当な添加剤を含有する成形材料を、ゲージピン22と一次孔との間に充填されるように流し込む。なお、成形材料を流し込む際には、一次孔内部にガスが残存することを防止するべく、第二金型23と本体基材13の間隙を吸引し、適当な減圧状態とする(図14(c))。更に、成形材料の粘度が高い場合には成形材料を加圧することも好ましい。

【0064】 なお、成形材料はその後、成形材料中の樹脂を硬化させてプラス

チックとすることにより筒状部を形成する。第一金型 21 と第二金型 23、及びゲージピン 22 を取り除くことにより、図 14 (d) に示す離型体 26 とし、これを研磨等することによって余剰の硬化した成形材料 27 を除去して、図 1 に示す本発明のマイクロホールアレイ 11 を作製することができる。

【0065】 本発明に係るマイクロホールアレイの製造方法においては、粘度が $10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下の成形材料を流し込むことが好ましく、 $8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下の成形材料を流し込むことが更に好ましく、 $7 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下の成形材料を流し込むことが特に好ましい。所定の型に成形材料を流し込む、いわゆる注型による成形法によって筒状部を形成するためには、樹脂、又は複合材料は注型成形可能な粘度を示すことが重要である。このため、注型時の成形材料の粘度が $10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ を超えると成形材料の流動性が充分ではなく、注型成形が困難となる。従って、成形材料の粘度を当該数値以下とすることにより注型の際に十分な流動性を確保することができる。

【0066】 本発明においては、前記粘度の下限值については特に限定されるものではないが、実質的な製造条件等に鑑みれば $0.1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 以上であればよい。

【0067】 なお、注型により筒状部を形成するに際し、樹脂を硬化せしめる硬化剤も、注型時の流動性が高く、硬化反応が比較的遅く、且つ、溶剤を含有しない硬化剤であることが好ましい。

このような条件を満たす硬化剤としては、例えば無水フタル酸、テトラヒドロメチル無水フタル酸、ヘキサヒドロ無水フタル酸、無水トリメリット酸、無水メチルナジック酸、テルペン系酸無水物等の酸無水物が挙げられる。なお、主剤、硬化剤、無機充填剤以外にも、硬化促進剤、カップリング剤、難燃剤等を、必要に応じて適宜添加することができる。

【0068】 なお、図 10、11 に示すような構造、即ち、テーパー部 14 を有するマイクロホールアレイを製造するためには、例えば、前述の製造方法により得られた図 1 に示すような構造のマイクロホールアレイ 11 の筒状部 12 をドリル加工や砥石加工する方法、又は、通常のゲージピンではなく、段付テーパーピン等を使用した、成形材料を硬化させる段階でテーパー部を形成する方法等が

好適に採用される。

【0069】 一方、本発明のコネクタは、上述してきた本発明のマイクロホールアレイの製造方法に準じて製造することができる。即ち、複数の一次孔に加えて、ガイドホールを形成するための2以上の一次孔を有する本体基材と、これに対応する金型を用いればよい。ここでいう、ガイドホールを形成するための2以上の一次孔の径は、所望とするガイドホールの径に比して2～10倍であればよく、概ね±0.05mm以内の位置・寸法精度で設けられていればよい。

【0070】 以下、本発明を実施例に基づいて更に具体的に説明する。

(実施例1)

窒化アルミニウム製の本体基材（熱膨張係数：3ppm/℃、20mm×20mm×5mm）を用意し、図15に示すように、ドリル加工によって0.6mmφの一次孔20を計64個設けた。次に、図14（b）に示すように所定のサイズ及び配列間隔で穿孔（ワイヤー放電加工）された孔（図示せず）を有する第一及び第二金型（材質：インバー、熱膨張係数：3ppm/℃）21・23を、孔が設けられた面が対向するように配置し、これらの間に前述の一次孔を有する本体基材13を配置した。配置後、ゲージピン22（0.126mmφ±0.0005mm）を、第一金型21の孔、本体基材13の一次孔、第二金型23の孔へと通した。

【0071】 樹脂としてビスフェノールA型エポキシ樹脂を100重量部、硬化剤として脂環式酸無水物を110重量部、硬化促進剤としてイミダゾールを0.5重量部、平均粒径1μmの球状の非晶質シリカを320重量部、アミノ系シランカップリング剤を1重量部、難燃化剤としてヘキサプロモベンゼンを95重量部とし、それぞれを攪拌羽根式混合機に投入し、80℃にて混合した。この混合物（成形材料）を第一金型21と本体基材13との間隙に適当な減圧条件下で流し込み、注型した。

【0072】 その後、80℃で3時間、次いで130℃で12時間加熱して樹脂を硬化させた。冷却後、ゲージピン22を抜き取るとともに第一金型21、第二金型23から本体基材13を取り出し（図14（c））、余剰の成形材料及びを除去することにより、マイクロホールアレイ11を作製した（図14（e））

。得られたマイクロホールアレイ 11 の寸法、各種物性値を表 1 に示す。

【0073】

【表 1】

孔の配置	8×8 (個)
孔のピッチ	1.25mm×1.25mm±0.002mm
孔径	0.126mm±0.001mm
熱膨張係数	3ppm/°C

【0074】 (考察)

表 1 に示す通り、本発明のマイクロホールアレイは、光ファイバを挿入・固定するための孔が極めて位置・寸法精度よく配列されていることを確認することができた。

【0075】 以上説明したように、本発明のマイクロホールアレイは、所定の材料により形成された筒状部と、低熱膨張率のセラミックス等により形成された本体基材により構成されているために、光ファイバを挿入・固定するための孔が極めて優れた位置・寸法精度で配列されている。

また、本発明の光ファイバアレイは、前記マイクロホールアレイに光ファイバを挿入・固定して作製されているために、光ファイバが極めて位置・寸法精度よく配列されている。また、低熱膨張率の材質によって構成されているために、光信号から光信号へと接続するスイッチングシステムに組み込み、当該システム内部において温度分布が生じた場合であっても、光信号の正確な伝達が確保される。

【0076】 更に、本発明のコネクタは、前記マイクロホールアレイに、ガイドホールを備えるとともに所定の材料により形成された筒状部が光ファイバを通すための複数の孔と並行に設けられているために、ガイドホールが極めて優れた位置・寸法精度で配列されており、光ファイバの端面同士を位置精度良好に突き合わせて固定することが可能である。

また、本発明のマイクロホールアレイの製造方法によれば、前述の光ファイバを挿入・固定するための孔が極めて優れた位置・寸法精度で配列されたマイクロホールアレイを、簡便、且つ、低コストで製造することができる。